



【문제 1】 아래의 제시문을 읽고 문제에 답하시오. (30점)

(가) 우리 몸의 세포는 모두 하나의 수정란에서 만들어지지만, 모양이나 기능은 서로 다르다. 개체의 발생이나 유지 과정에서 구조와 기능이 특수화된 세포가 만들어지는 과정을 세포 분화라고 한다. 근육 세포, 혈구, 피부 세포 등과 같이 분화된 세포는 자신의 구조와 기능에 필요한 단백질을 만들어 자신만의 고유한 특성을 나타낸다. 수정란과 마찬가지로 분화된 세포에도 완전한 개체를 만드는 데 필요한 유전자가 모두 들어 있으며, 분화 과정에서 유전자는 변하지 않는다.

(나) 대부분의 생물은, 산소를 이용하여 유기물을 산화시켜 에너지를 방출하는 복잡한 화학 반응인 세포호흡, 즉 산소 호흡을 통해 생명 활동에 필요한 ATP를 얻는다. 탄수화물, 지방, 단백질과 같이 세포 호흡의 재료가 되는 유기물을 호흡기질이라고 하며, 포도당이 주로 이용된다. 포도당이 산화되면 이산화탄소와 물이 생기고 ATP가 합성된다. 일부 미생물은 산소를 이용하지 않고 유기물을 분해하여 ATP를 얻을 수 있는데, 이와 같은 에너지 생성 과정을 발효라고 한다. 발효는 생성되는 최종 산물의 종류에 따라 알코올 발효와 젖산 발효 등으로 구분할 수 있다.

(다) 우리가 운동할 때 이용하는 근육은 골격근이다. 근육의 여러 구성 요소 중 근육 섬유가 근육 수축을 담당한다. 근육 섬유는 여러 개의 핵을 가지고 있는 하나의 세포이며, 각 근육 섬유는 가느다란 근육 원섬유 다발로 이루어져 있다. 근육 수축은 근육 원섬유 마디를 구성하는 액틴 필라멘트가 마이오신 필라멘트 사이를 미끄러져 들어가면서 일어나며, 이때 ATP가 소모된다.

(라) 원핵세포가 진핵세포로 진화하는 과정에서 미토콘드리아와 엽록체가 생성되는 현상은 세포내 공생설로 설명된다. 이 과정에서 미토콘드리아는 산소 호흡 세균이 무산소 호흡 세포인 숙주 세포에 공생하여 형성된 것으로, 산소 호흡 세균은 효율적으로 ATP를 생산하여 숙주 세포에 공급하고, 숙주 세포는 산소 호흡 세균에 영양분을 제공하며 산소 농도가 증가하는 환경에 적응하게 되었다.

【문제 1-1】 근육 세포에서는 근육 원섬유가 많이 발달하지만 신경 세포에서는 근육 세포와 같은 근육 원섬유가 많이 발달하지 않는 이유를 제시문 (가)와 관련지어 설명하시오. (10점)

【문제 1-2】 제시문 (나)의 밑줄 친 부분에서 한 분자의 포도당이 세포호흡을 통해 ATP 생산에 사용된다고 할 때, 세포호흡의 각 과정을 물질의 산화 환원 반응과 관련지어 설명하시오. (10점)

【문제 1-3】 육상 선수 중, 단거리 선수와 마라톤 선수의 근육 발달 특성을 제시문 (나) - (라)를 근거로 비교하여 추론하시오. (10점)

[문항해설]

1. 다세포 생물의 발생 과정에서 세포 분화 과정을 이해하는지와 진핵세포에서 유전자 발현의 조절을 이해하는지를 평가함
2. 세포호흡 과정이 해당과정, 피루브산의 산화와 TCA 회로 및 산화적 인산화로 구성되어 있으며, 이 과정에서 일어나는 일들을 물질의 화학 반응인 산화 환원 과정으로 설명할 수 있는지를 평가함
3. 근육 세포에서 ATP 생산 과정에서 해당과정과 미토콘드리아의 기능을 이해하고, 진핵세포의 진화 과정과 연관지어 산소와의 관계를 설명할 수 있는지를 평가함

[예시답안]

<문제 1-1 해설>

(출제의도)

1. 다세포 생물의 발생 과정에서 세포 분화 과정을 이해하는지를 평가함
2. 진핵세포에서 유전자 발현의 조절을 이해하는지를 평가함

(예상답안)

다세포 생물은 하나의 수정란으로부터 발생하여 다양한 기능을 지닌 수많은 세포로 분화하여 하나의 개체를 형성하게 된다. 이러한 분화 과정에서 대부분의 세포는 유전정보를 동일하게 유지하지만 유전자의 발현 방식은 매우 다양하다. 동일한 유전자라 하더라도 어떤 세포에서는 발현이 잘 되는 것도 있고, 어떤 세포에서는 발현이 전혀 이루어지지 않는 세포도 있으며, 특정한 시기나 조건에서만 발현이 이루어지는 유전자들도 있다.

각 세포가 분화할 때 특정 유전자들이 발현하여 기능하기 위해서 전사와 번역 과정을 거쳐 단백질 합성이 이루어져야 한다. 발생과정에서 근육 세포의 분화는 근육 모세포(전구체 세포)로부터 이루어지는데, 핵심 조절 유전자 *MyoD*라는 유전자의 발현을 통해 만들어지는 전사인자인 MyoD가 중요한 기능을 담당한다. 이와 같은 전사인자에 의한 전사 조절을 통해 근육 세포가 분화하고, 이 근육 세포에서 근육 원섬유가 만들어지게 된다. 신경 세포로 분화하는 세포는 이와 같은 전사조절이 이루어지지 않고, 신경 세포 형성을 위한 다른 전사조절이 이루어지게 되므로 근육 세포의 분화 과정과 같은 일은 일어나지 않게 된다.

따라서, 근육 세포와 신경 세포가 모두 같은 유전자를 가지고 있다고 하더라도 각 세포가 분화하는 과정에서 유전자 발현이 다르게 조절되므로 신경 세포에서는 근육 세포에서 발달하는 근육 원섬유가 잘 발달하지 않는다.

(채점기준)

- 5점: 다세포 생물의 발생과정에서 세포 분화가 일어남을 이해하고 서술하였음
5점: 세포 분화 과정에서 유전자의 발현이 세포마다 다르게 일어나고 조절됨을 이해하고 추론하였음

<문제 1-2 해설>

(출제의도)

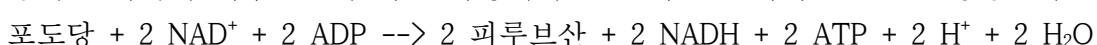
1. 세포호흡 과정이 해당과정, 피루브산의 산화와 TCA 회로 및 산화적 인산화로 구성되어 있음을 이해하는지를 평가함
2. 세포호흡 과정에서 일어나는 일들이 물질들의 화학 반응으로 산화와 환원과정으로 이루어져 있음을 이해하는지를 평가함

(예상답안)

세포호흡을 통해 ATP를 생산하는데 세포호흡은 해당과정, 피루브산의 산화 및 TCA회로, 전자전달계와 화학삼투를 통한 산화적 인산화의 과정으로 진행된다.

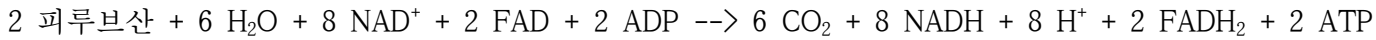
(1) 해당과정

해당과정은 세포질에서 일어나는데 포도당이 2분자의 피루브산으로 분해되는 과정으로 2 분자의 ATP가 형성된다. 포도당이 산화하여 피루브산이 되는 과정에서 NAD^+ 가 환원되어 $NADH$ 를 형성한다.



(2) 피루브산의 산화 및 TCA회로

산소가 존재할 때 해당과정에서 생성된 피루브산은 미토콘드리아의 기질로 능동 수송되어 미토콘드리아 기질에서 피루브산의 산화 및 TCA회로를 거치게 된다. 이 과정에서 피루브산이 산화되고 NAD⁺와 FAD가 환원되어 CO₂, NADH, FADH₂가 생성된다.



(3) 산화적 인산화

1) 전자전달계

해당과정, 피루브산의 산화와 TCA 회로에서 생성된 NADH와 FADH₂는 미토콘드리아 내막에 존재하는 전자전달계에 고에너지 전자를 전달한다. 고에너지 전자가 전자 전달계를 따라 이동하면서 산화 환원 과정을 통해 에너지를 단계적으로 방출한다. 이 과정에서 NADH, FADH₂가 산화되어 NAD⁺, FAD를 형성하고, 에너지 수준이 낮아진 전자는 산소에 전달되어 산소가 환원되어 H₂O를 형성한다.

2) 화학삼투

전자전달계를 거치는 과정에서 미토콘드리아 기질에서 막사이 공간으로 이동한 H⁺ 이온으로 인해 막사이 공간이 높은 H⁺ 이온 농도를 형성하여 화학삼투를 유발하게 된다. H⁺ 이온이 미토콘드리아 기질로 다시 들어오는 과정에서 내막에 존재하는 ATP 합성 효소에 의해 ATP가 생성된다.



(채점기준)

5점: 세포호흡 과정이 해당과정, 피루브산의 산화와 TCA 회로 및 산화적 인산화 과정으로 구성되어 있음을 적절한 용어로 설명하였음

5점: 세포호흡의 각 과정에서 일어나는 물질들의 화학 반응을 산화와 환원과정과 관련지어 잘 설명하였음

<문제 1-3 해설>

(출제의도)

1. 근육 세포에서 ATP 생산 과정에서 해당과정과 미토콘드리아의 기능을 이해하는지를 평가함
2. 진핵세포의 진화 과정에서 미토콘드리아, ATP, 산소와의 관계를 이해하는지를 평가함

(예상답안)

육상 선수 중 단거리 선수와 마라톤 선수 모두 근육 운동에 필요한 에너지를 ATP 형태로 공급받아야 한다.

단거리 선수는 숨을 거의 쉬지 않고 달리면서 짧은 시간 동안 골격근 수축과 이완에 많은 ATP를 필요로 하므로 산소에 의존적이지 않은 해당과정과 젖산 발효를 통해 주로 ATP를 생산하게 될 것이다. 따라서, 산소가 많지 않은 환경의 근육 세포는 미토콘드리아를 많이 가지고 있지 않으며, 대신 해당과정과 젖산발효에 필요한 효소가 많이 존재할 것이다.

마라톤 선수는 장시간 동안 골격근 수축과 이완을 위해 ATP가 필요하므로 산소를 이용하는 세포호흡이 일어날 것이다. 따라서, 근육 세포는 산소를 충분히 활용하여 에너지를 생산할 수 있도록 미토콘드리아를 많이 가지고 있어 TCA 회로 및 산화적 인산화 과정을 통해 많은 양의 ATP를 생산할 수 있게 될 것이다. 상대적으로 해당과정에 필요한 효소는 적게 존재할 것이다.

단거리 선수와 장거리 선수의 근육 발달 특성을 비교하여 볼 때 단거리 선수의 근육 세포는 미토콘드리아와 공생관계를 형성하기 이전의 숙주 세포와 비슷한 특성을 보이고, 장거리 선수의 근육 세포는 미토콘드리아와 공생관계를 형성한 이후의 숙주세포와 비슷한 특성을 보인다고 할 수 있다.

(채점기준)

5점: 단거리 선수와 마라톤 선수의 근육 세포에서 ATP 생산을 위한 세포호흡 과정을 산소, 해당과정, 미토콘드리아와 관련지어 이해하고 적절하게 추론하였음

5점: 단거리 선수와 마라톤 선수의 근육 세포의 특성을 진핵세포의 진화 과정에서 미토콘드리아, ATP, 산소와의 관계와 관련지어 추론하였음

【문제 2】 아래의 제시문을 읽고 문제에 답하시오.(10점)

- (가) 생명과학의 탐구 방법에는 귀납적 탐구 방법과 연역적 탐구 방법이 있는데, 귀납적 탐구 방법은 여러 가지 관찰 결과를 종합하고 분석하여 일반적인 원리나 법칙을 이끌어 내는 탐구 과정이고, 연역적 탐구 방법은 문제에 대한 해답으로써 가설을 세우고 이를 실험으로 검증하는 탐구 과정이다.
- (나) 제한 효소는 세균이 자기 세포 안으로 침입한 외부 DNA를 제거할 때 사용하는 효소로, 대장균을 연구하는 과정에서 발견되었다. 제한 효소는 특정 염기 서열을 인식하여 그 부위의 DNA를 자른다. 제한 효소마다 인식하는 염기 서열이 다르므로 다양한 제한 효소를 골라서 사용하면 원하는 DNA 부위를 자를 수 있다.
- (다) 사람 유전체 사업을 통해 얻어진 유전체 DNA 서열을 각 개인의 유전체 DNA 서열과 비교하면 여러 부분의 DNA 염기 서열에서 차이가 있음이 발견된다. 또한, 사람 유전체에는 특정 염기 서열이 반복적으로 나타나는 부위가 있는데, 이러한 반복 서열의 반복 횟수는 사람마다 달라 유전체 분석에 많이 활용된다.
- (라) 복제양 돌리는 면양 A로부터 젖샘세포를 채취하고, 면양 B에서 얻어진 난자에서 핵을 제거한 후 젖샘 세포와 무핵 난자를 전기 자극으로 세포 융합시켜 핵치환된 복제란을 얻은 다음, 복제란을 대리모 면양 C에 이식하여 출생하게 되었다.

【문제 2】 김연세 연구원은 자신이 키우는 고양이 ‘사랑이’를 제시문 (라)에서 적용한 방법과 동일한 방식으로 고양이 체세포 복제를 수행하여 새끼 고양이 ‘새사랑이’를 얻었다. 그는 ‘새사랑이’가 실제 체세포 복제를 통해 태어났는지를 입증하기 위해 제시문 (나) - (라)에 나와 있는 내용을 바탕으로 수행할 연구를 계획하였다. 김 연구원이 제시문 (가)의 연역적 탐구 방법으로 연구를 수행할 때, 그에 따른 연구 과정을 서술하시오. [단, 제시문 (다)의 사람 유전체 특성이 다른 포유동물에서도 같다고 가정함]

<문제 2 해설>

(출제의도)

1. 생명 과학의 탐구 방법인 귀납적 탐구 방법과 연역적 탐구 방법을 이해하는지를 평가함
2. 생명 공학적 방법을 이해하고 연역적 탐구 방법에 맞춰 적절하게 기술하였는지를 평가함

(예상답안)

연역적 탐구 방법은 문제에 대한 가설을 설정하고 실험 설계 및 수행을 하게 되는데, 이때 실험 결과의 타당성을 높이기 위해 대조군을 정하고 실험군과 비교하는 실험을 수행한다. 이후 실험 결과 정리와 분석, 결론 도출 및 일반화하는 과정을 거치게 된다.

(1) 가설 설정

복제 고양이 입증을 위한 연구에서 체세포 복제가 정상적으로 이루어졌다면 개체별로 다르게 나타나는 유전체 부위가 복제된 고양이와 체세포를 제공한 고양이에서는 동일하고, 난자를 제공한 고양이 및 대리모 고양이에서는 다르게 나타나야 한다. 따라서, 가설은 ‘새로 태어난 복제 고양이(새사랑이)의 유전체는 체세포를 제공한 고양이(사랑이)의 유전체와 동일하다’ 라고 설정할 수 있다.

(2) 실험 설계 및 수행

제시문에 나와 있는 정보를 바탕으로 한 실험 방법은 각각의 고양이로부터 유전체를 얻고 이 유전체에서 유전 정보 차이를 제한 효소 처리를 통해 비교하는 것이다.

1. 유전체 분석을 위해 체세포를 제공한 고양이(사랑이), 난자를 제공한 고양이, 대리모 고양이, 태어난 복제 고양이(새사랑이)로부터 유전체를 확보한다.
2. 체세포를 제공한 고양이(사랑이) 또는 복제 고양이(새사랑이)로부터 얻은 유전체 정보를 대조군으로 설정한다.
3. 확보한 유전체를 개체별로 차이를 보이는 유전자 서열 부위를 제한 효소 처리를 통해 비교한다.

(3) 결과 분석 및 해석

각 고양이 유전체로부터 얻어진 제한 효소 처리 결과가 개체별로 어떻게 나타나는지를 확인한다.

1. 제한 효소 처리 결과 복제 고양이(새사랑이)의 유전체가 체세포를 제공한 고양이(사랑이) 유전체와 동일하고 난자를 제공한 고양이 및 대리모 고양이와 다르다면 정상적으로 복제를 통해 태어난 고양이라고 판단한다.
2. 복제 고양이(새사랑이)의 유전체가 체세포를 제공한 고양이(사랑이)의 유전체와 다르다면 복제를 통해 태어난 고양이가 아니라고 판단한다.

(4) 결론 도출

새로 태어난 복제 고양이(새사랑이)의 유전체가 체세포를 제공한 고양이(사랑이)의 유전체와 동일하므로 복제 고양이(새사랑이)는 체세포 핵치환 복제를 통해 태어난 것이 맞다고 결론을 내린다.

(채점기준)

5점: 생명 과학의 탐구 방법인 연역적 탐구 방법을 이해하고 이에 따라 서술하였음

5점: 생명공학 방법을 이해하고 연역적 탐구 방법에 맞춰 적절한 용어를 사용하여 논리적으로 기술하였음